МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

В. А. ВАСИЛЬЕВ

АНТЕННЫ ПОРТАТИВНЫХ ПРИЕМНИКОВ

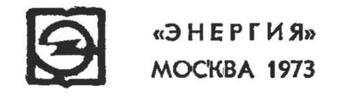


Массовая
радиобиблиотека

Выпуск 820

В. А. ВАСИЛЬЕВ

АНТЕННЫ ПОРТАТИВНЫХ ПРИЕМНИКОВ



«ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1973

6Ф2.9
В 19
УДК 621.396.67

Васильев В. А.

В 19 Антенны портативных приемников. М., «Энергия», 1973.

40 с. с ил. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 820).

В книге описываются назначение, устройство и применение антенн портативных приемников. Обсуждаются особенности конструкций и методы включения штыревых, рамочных и ферритовых антенн, приводится методика их расчета с примерами. Даются практические рекомендации по включению дополнительных антенн.

Книга предназначена для широкого круга радиолюбителей.

$В \frac{0343-079}{051(01)-73}$ 367-72

6Ф2.9

ПРЕДИСЛОВИЕ

В процессе конструирования портативных приемников радиолюбители обычно обращают главное внимание на выбор схемы усилительного тракта, обеспечивающего требуемую чувствительность и необходимую выходную мощность. На антенну, как правило, обращают минимальное внимание, хотя от нее во многом зависят такие основные параметры приемника, как его чувствительность, избирательность, устойчивость к воздействию атмосферных и промышленных помех.

Такое отношение к антенне обусловлено двумя причинами. Во-первых, широкие круги радиолюбителей знают об антеннах пока еще мало, а поэтому не могут достаточно серьезно подходить к их выбору и расчету. Во-вторых, антенны, несмотря на всю кажущуюся простоту их устройства, требуют для своего расчета знаний теории электромагнитного поля. Подтверждением сказанного может служить тот факт, что вышедшие ранее книги по антеннам предназначены исключительно для инженерно-технических работников, студентов и подготовленных радиолюбителей. На долю менее подготовленных и начинающих радиолюбителей достаются лишь отдельные краткие, порой противоречивые сведения о количестве витков, приводимые в описаниях конструкций.

В данной небольшой по объему книге представлен минимум самых необходимых сведений об антеннах вообще и антеннах портативных приемников в особенности, которыми должен располагать радиолюбитель, приступающий к изготовлению портативного приемника.

При написании книги были использованы отечественные и зарубежные издания по теории и конструированию антенн портативных приемников, а также знания и опыт автора, накопленные им в процессе разработки, изготовления, налаживания и эксплуатации различных любительских портативных приемников, описанных в разное время на страницах журнала «Радио» и изданий «Массовой радиобиблиотеки».

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРИЕМНЫХ АНТЕННАХ

Приемной антенной называется устройство, предназначенное для преобразования энергии электромагнитных волн в колебания электрического тока. Приемная антенна — важнейшая часть любого радиоприемника. От качества ее работы во многом зависят чувствительность приемника и его устойчивость к действию различных помех.

Антенны портативных приемников разделяются на внутренние (встроенные) и внешние (дополнительные). Первые являются не-

отъемлемой частью приемника, а вторые подключаются к специальному входу приемника по мере необходимости.

Электромагнитное поле сигнала. Электромагнитные волны характеризуются электрическим **E** и магнитным **H** векторами напряженности поля. На рис. 1,*а* приведено их условное взаимное расположение по отношению к вектору распространения волн **P**.

Оба вектора действуют в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, линия пересечения которых совпадает с направлением распространения волны. Расстояние, которое проходит волна за время одного полного периода своего колебания, называется длиной волны,

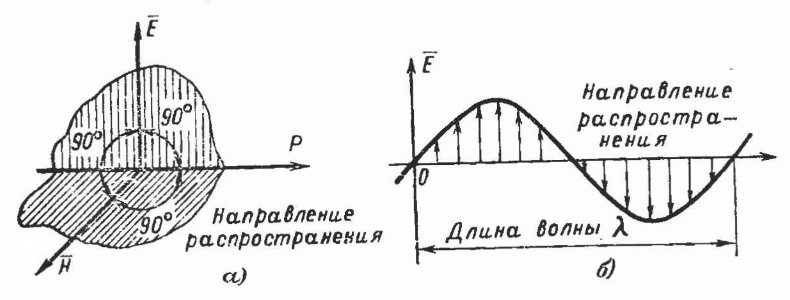


Рис. 1.

а — взаимное расположение векторов напряженности электрического **E** и магнитного **H** полей сигнала; *б* — понятие «длина волны».

обозначаемой буквой λ (рис. 1,*б*). Длина волны связана с частотой сигнала простым соотношением:

$$\lambda = \frac{300}{f},\ \textit{м}, \qquad (1)$$

где f — частота сигнала, *Мгц*.

Например, если частота сигнала $f=12$ *Мгц*, то $\lambda=300/12=25$ *м*.

Для радиовещания используются частоты от 0,15 до 12,1 *Мгц*, т. е. волны длиной от 25 до 2 000 *м*. Причем этот интервал частот разбит на ряд диапазонов, основные данные которых приведены в табл. 1. Диапазоны ДВ, СВ и КВ хорошо известны радиолюбителям. Два коротковолновых диапазона названы тропическими так потому, что они обеспечивают хорошую связь в экваториальной и тропической частях Земного шара.

Количество диапазонов приемника определяется его назначением и классом. Например, радиовещательные приемники высшего и первого классов могут иметь, кроме обязательных ДВ и СВ, четыре растянутых (25, 31, 41 и 49 *м*), а также полуобзорный диапазон (50—75 *м*).

Растянутыми называют диапазоны, перекрывающие всю шкалу настройки приемника. Обзорный диапазон перекрывает несколько поддиапазонов: 25, 31, 41, 49 и 75 *м*. Полуобзорными считаются диапазоны, которые охватывают два-три растянутых, например 25—31, 41—49 *м* и т. д. В портативных приемниках второго и третьего классов вместо растянутых диапазонов могут быть два полуобзорных, например 25—31 и 41—75 *м*. В простых любительских приемниках обычно имеется обзорный диапазон КВ 25—50 или 25—75 *м*.

Таблица 1

Радиовещательные диапазоны

Наименование диапазона	Полоса отведенных частот, *Мгц*
Длинные волны (ДВ)	0,150—0,408
Средние волны (СВ)	0,525—1,605
Короткие волны (КВ) (75 *м*)	3,95—4,00
Короткие волны (60 *м*), тропический диапазон	4,75—4,995
То же (50 *м*)	5,005—5,060
Короткие волны (49 *м*)	5,95—6,20
То же (41 *м*)	7,1—7,3
„ „ (31 *м*)	9,775—9,900
„ „ (25 *м*)	11,700—11,975

Напряженность электрического поля. Величина E_c выражается в вольтах на метр (*в/м*) и характеризует напряженность такого поля, которое действует между двумя плоскопараллельными пластинами, удаленными друг от друга на расстояние 1 *м* при подведении к ним напряжения, равного 1 *в*. Следует отметить, что 1 *в/м* — весьма значительная напряженность, наблюдаемая вблизи передающих антенн радиостанций. Практически же на достаточном удалении от местных радиостанций напряженность поля в сотни раз меньше, составляя в среднем 5—10 *мв/м*.

Приближенное значение напряженности поля, создаваемого длинноволновой радиостанцией в месте приема, может быть определено по формуле

$$E = 222 \frac{\sqrt[6]{P}}{r}, \tag{2}$$

где P — мощность передатчика радиостанции, *квт*; r — расстояние до радиостанции, *км*.

Мощность радиовещательных станций обычно исчисляется десятками, реже — сотнями киловатт. Например, радиостанция «Варшава-1», работающая на волне 1 322 *м*, имеет мощность, равную 500 *квт*. Если подставить это значение в формулу (2), то получим напряженность поля 100 *мв/м* в радиусе 50 *км* и 10 *мв/м* в радиусе 500 *км* от станции. При этом следует иметь в виду, что точность расчета по формуле (2) снижается по мере увеличения расстояния и уменьшения длины волны. Последнее объясняется дополнительными потерями энергии радиоволн у земной поверхности.

Как известно, средние (СВ) и короткие (КВ) волны могут распространяться на расстояния, исчисляемые сотнями, а порой тысячами километров, но происходит это за счет пространственных волн, отражающихся от слоев ионизированного воздуха (ионосферы), окружающих Землю на высотах 200—500 *км* над ее поверхностью.

В принципе возможно создание приемников, которые могли бы уверенно принимать очень слабые сигналы, если бы в месте приема не действовали различные виды помех (внутренние и внешние).

Внутренние помехи обусловлены действием собственных шумов антенны и входных каскадов приемника, вызываемых хаотическим

движением электронов в электрических проводниках. Внешние помехи создаются различными электро- и радиотехническими устройствами и атмосферными явлениями природы. Наиболее мощными являются внешние атмосферные и промышленные помехи.

Атмосферные и промышленные помехи. Источником атмосферных помех являются разряды атмосферного электричества в воздухе. Наиболее мощные из них мы видим в виде молний, а самые слабые воспроизводятся в громкоговорителях в виде тресков и шорохов, усиливающихся перед и во время гроз. Кстати, впервые обнаружил это явление природы изобретатель радио А. С. Попов еще в период своих первых опытов с радиоприемником.

Источниками промышленных помех могут являться электротехническое оборудование предприятий, электрифицированный городской транспорт, уличное освещение, световая реклама, неисправные электробытовые приборы (холодильники, стиральные машины, бритвы и т. п.). Характерные помехи создают генераторы строчной развертки телевизоров.

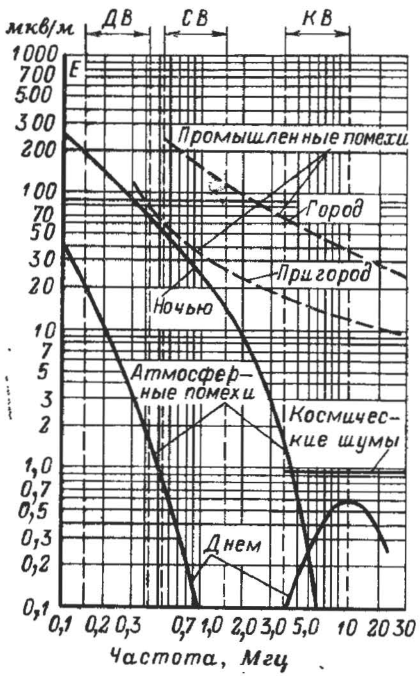


Рис. 2. Усредненные зависимости напряженности поля внешних помех от частоты.

Указанные выше виды промышленных помех наиболее сильно влияют на работу приемника непосредственно вблизи источника помех. Борьба с промышленными помехами ведется по двум направлениям. С одной стороны, помехи подавляются в самом устройстве, создающем их. С другой стороны, сами приемники удаляются от источников помех. В этом отношении у портативных приемников значительно больше возможностей, чем у стационарных.

На рис. 2 приведены усредненные зависимости напряженности электрических полей различных видов помех от частот сигналов для сельской, пригородной и городской местностей. Согласно рис. 2 напряженность поля атмосферных помех составляет по диапазонам в среднем 10—100 *мкв/м* на длинных волнах (ДВ), 0,3—30 *мкв/м* на средних волнах (СВ) и 0,1—1 *мкв/м* на коротких волнах (КВ). Практически же с учетом действия промышленных помех напряженность поля внешних помех составляет не менее 10—100 *мкв/м*.

Характерно то, что закон изменения напряженности поля помех в зависимости от расстояний иной, чем у поля сигнала. Так, если для сигнала радиостанции напряженность поля изменяется обратно пропорционально расстоянию, то для помех напряженность элек-

трического поля обратно пропорциональна кубу, а магнитного — квадрату расстояния. Кроме того, мощность электрического поля помех вблизи их источника значительно больше мощности его магнитного поля.

Электрические и магнитные антенны. Приемные антенны разделяются на электрические и магнитные в зависимости от того, на какую составляющую электромагнитного поля сигнала в основном реагирует антенна. В основу принципа действия антенн обоих типов заложены законы электрической и магнитной индукции. Суть этих законов заключается в том, что переменные электромагнитные поля возбуждают переменные токи в проводниках, находящихся в этих полях.

Из курса физики известно, что энергия переменного электрического поля может быть преобразована в колебания электрического тока с помощью проводника, расположенного вдоль вектора напряженности поля, как это показано на рис. 3. В свою очередь, энергия переменного магнитного поля может быть преобразована в энергию

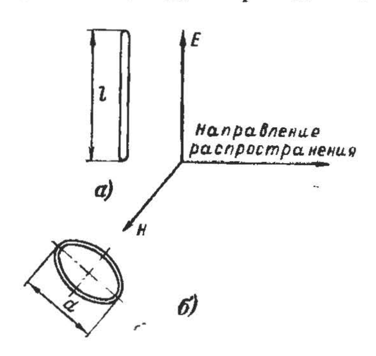


Рис. 3. Преобразование энергии радиоволн с помощью линейного проводника (*а*) и рамки (*б*).

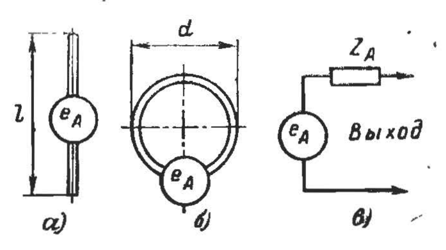


Рис. 4. Условная схема включения эквивалентного генератора наведенной э. д. с. сигнала e_A в электрической (*а*) и магнитной (*б*) антеннах и их эквивалентная схема замещения (*в*).

электрического тока с помощью рамки из хорошего проводника, размещенной в магнитном поле так, чтобы вектор напряженности магнитного поля был перпендикулярен плоскости рамки. Поэтому антенну в виде линейного проводника можно считать электрической антенной. Аналогично этому замкнутая рамка или отдельный виток является магнитной антенной.

Для того чтобы можно было использовать токи, наведенные в антеннах, их нужно разорвать, как показано на рис. 4. Тогда в месте разрыва будет действовать э. д. с., которую можно представить в виде некоторого эквивалентного генератора e_A, включенного так, как показано на рис. 4,*а* и *б*. В свою очередь выходное сопротивление антенны в месте разрыва в общем случае является комплексным, т. е. содержит активную и реактивную составляющие. На рис. 4,*в* показана общая эквивалентная схема замещения антенны генератором e_A и сопротивлением Z_A.

Плоскость, которая проходит через направление распространения волны *P* и вектор напряженности электрического поля *E*, принято называть плоскостью поляризации волны. Большинство радио-

вещательных станций создает в месте приема вертикально поляризованную волну, когда вектор напряженности E действует перпендикулярно земной поверхности. Поэтому наибольшая э. д. с. сигнала будет наводиться в электрических антеннах, находящихся в вертикальном положении. Для магнитной антенны это условие максимума э. д. с. будет выполняться, как видно из рис. 3, при совмещении плоскости рамки с плоскостью поляризации волны, т. е. когда плоскость рамки перпендикулярна земной поверхности и направлена на радиостанцию.

Отклонение антенн от указанных выше положений приводит к уменьшению величины наведенной э. д. с., причем минимум сигна-

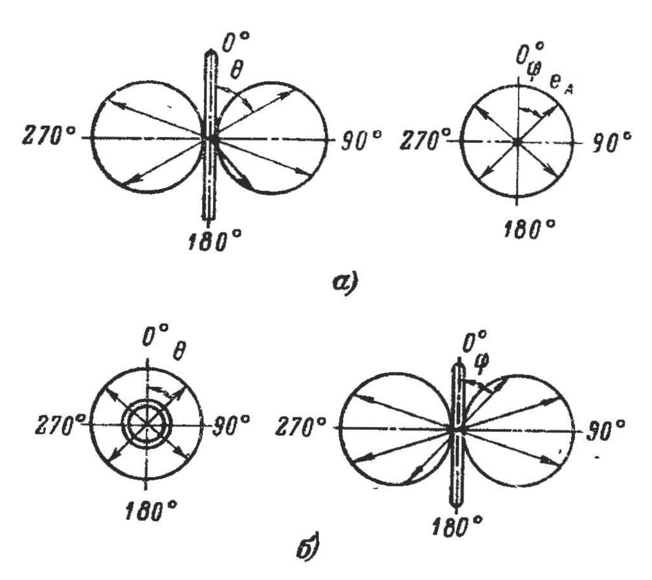


Рис. 5. Диаграммы направленности электрической (*а*) и магнитной (*б*) антенн в азимутальной φ и меридиональной θ плоскостях.

ла будет наблюдаться для электрической антенны, ориентированной в плоскости *H*, т. е. по горизонтали. Для магнитной антенны минимум наблюдается в случае совпадения плоскости рамки с плоскостью *H* либо когда ее плоскость перпендикулярна направлению распространения волны. Всякие промежуточные положения антенн относительно плоскости поляризации и направления прихода волны дают также некоторые промежуточные значения наведенной э. д. с., в чем проявляются свойства направленного приема электрических и магнитных антенн.

Направленность приема антенн принято характеризовать диаграммами направленности в горизонтальной плоскости по азимуту (угол φ) и в вертикальной плоскости по углу места (угол θ). Диаграммы направленности для простейших электрической и магнитной антенн, показанных на рис. 3, представлены на рис. 5.

Как видно из рис. 5, направленные свойства электрических антенн проявляются в вертикальной плоскости, а магнитных — в гори-

зонтальной, т. е. по азимуту. В то же время полностью отсутствует какая-либо направленность приема в горизонтальной плоскости для электрической антенны и в вертикальной — для магнитной.

Таким образом, при приеме вертикально поляризованной волны направленностью приема по азимуту будет обладать только магнитная антенна. Это свойство магнитных антенн уже давно используется для определения направления распространения волны и осуществления приема сигналов, приходящих только по определенному направлению.

На практике возможны такие случаи, когда приходящая волна имеет иную поляризацию, например горизонтальную или эллиптическую. Последняя отличается тем, что содержит горизонтальную и вертикальную составляющие. Если напряженности горизонтальной и вертикальной составляющей равны между собой, то поляризация называется круговой.

Такое явление наблюдается при приеме удаленных станций, работающих на КВ и СВ. В подобных случаях наилучший прием будет наблюдаться при иной ориентации антенны, определяемой обычно опытным путем по максимуму сигнала. При этом может оказаться даже и так, что электрическая антенна приобретет направленность в азимутальной плоскости, а магнитная, наоборот, станет всенаправленной.

Следует указать, что приведенные выше сведения о диаграммах направленности электрических и магнитных антенн справедливы для коротких антенн. Короткими принято считать антенны, у которых общая длина проводника не превышает одной третьей длины волны:

$$l < \frac{\lambda}{3}.$$

Например, на коротких волнах короткой антенной можно считать проволочную или штыревую антенну длиной до 8—10 *м*, на СВ — до 40—50 *м*, на ДВ — до 150—200 *м*. Как видно из приведенных выше цифр, практически любая антенна, установленная в портативном приемнике, будет считаться «короткой». О стационарных приемниках этого сказать нельзя.

Рамочные и ферритовые магнитные антенны. Различают два вида магнитных антенн — рамочные и ферритовые. Исторически первой была рамочная антенна, на целесообразность применения которой указал инженер Ф. Браун в 1906 г. Теория расчета таких антенн была разработана лишь в 1921 г. советским ученым М. В. Шулейкиным. С тех пор рамочные антенны нашли широкое применение в профессиональных приемниках благодаря своим высоким свойствам пространственной избирательности в азимутальной плоскости. Когда-то, лет 30—40 назад, рамочные антенны использовались в радиовещательных приемниках, главным образом в диапазонах средних и длинных волн.

Рамочные антенны тех лет представляли собой громоздкие сооружения в виде квадрата со стороной около 1 *м*. При всей своей невзрачности и громоздкости рамочные антенны имели очень важное по тем временам преимущество — они обеспечивали нормальную работу маломламповых приемников тех лет без заземления.

Впоследствии было установлено, что размеры рамочной антенны можно сократить буквально в сотни раз, если ее витки наматывать на стержень, изготовленный из специального диэлектрика, обладаю-

щего повышенной магнитной проницаемостью. Первоначально это были сердечники из карбонильного железа, затем — из феррита. Причем феррит оказался настолько хорошим материалом, что в настоящее время практически во всех странах мира портативные приемники снабжаются рамочными антеннами с ферритовыми сердечниками. В связи с этим такие антенны теперь называются ферритовыми.

Физически действие ферритового сердечника сводится к увеличению магнитной индукции внутри намотанной поверх него катушки, как это показано на рис. 6, из которого видно, что за счет свойства ферритового сердечника малая по своим геометрическим размерам рамка охватывает как бы значительно бо́льшую площадь поперечного сечения магнитного поля.

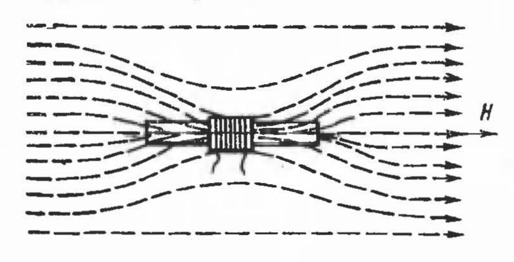


Рис. 6. Принцип действия ферритовой антенны.

Общим свойством рамочных и ферритовых антенн является индуктивный характер их выходного сопротивления. Кроме того, добротность эквивалентной индуктивности таких антенн может быть достаточно большой и составлять величину $Q = 30 \div 300$, а в ряде случаев и более. Это позволяет настраивать рамочные и ферритовые антенны в резонанс с частотой принимаемой волны, увеличивая тем самым напряжение сигнала на входе приемника и осуществляя дополнительное ослабление сигналов, действующих на других частотах. Эти замечательные свойства рамочных и ферритовых антенн, сочетающиеся с их малыми габаритами и свойством направленного приема, сделали их незаменимыми для портативных приемников, в особенности при работе на длинных и средних волнах.

Действующая высота приемной антенны. Максимальная величина наведенной в приемной антенне э. д. с. сигнала $e_А$ обычно выражается через напряженность электрического поля E и некоторый коэффициент пропорциональности $h_д$, называемый действующей высотой антенны. Эта зависимость записывается в виде формулы

$$e_А = h_д E, \text{ мкв.} \qquad (3)$$

Величина $h_д$ в свою очередь зависит от типа антенны, ее геометрических размеров, длины волны и некоторых других параметров. Физически величина действующей высоты антенны указывает, во сколько раз э. д. с. сигнала, наведенная в антенне, численно больше напряженности поля сигнала. Знание $h_д$ позволяет сравнивать антенны различных типов и размеров между собой по эффективности использования поля сигнала. Если в месте приема будут находиться две различные антенны, то наведенная э. д. с. будет больше у той антенны, у которой больше действующая высота. Действующая высота антенны определяет собой такой важный параметр любого приемника, как чувствительность по полю.

Чувствительность по полю характеризуется напряженностью поля в месте приема сигнала, воздействие которого на приемную антенну

развивает в приемнике, настроенном на частоту сигнала, стандартную выходную мощность при заданном отношении мощностей сигнала и помех на выходе приемника.

Согласно существующим стандартам чувствительность радиовещательных приемников оценивается при отношении мощностей сигнала и помех, равном 20 *дб* (100 раз). При этом выходная мощность должна составлять 5 *мвт* для карманных приемников и 50 *мвт* — для переносных.

Чувствительность приемника по полю и его чувствительность со входа первого усилительного каскада связаны между собой выражением

$$U_{вх} = kh_{д}E, \text{ мкв}, \quad (4)$$

где k — коэффициент передачи входной цепи приемника по напряжению.

Величина коэффициента k зависит от количества резонансных контуров на входе приемника, вида связи контуров между собой, а также с антенной и входом первого каскада усиления и входного сопротивления этого каскада. Для примера можно указать, что в приемниках, где применяются усилительные каскады с очень высоким входным сопротивлением (радиолампы, полевые транзисторы), этот коэффициент может быть равен $k = 1 \div 3$ и более. В приемниках на биполярных транзисторах, с которыми обычно имеют дело радиолюбители, $k = 0{,}05 \div 0{,}1$, а в ряде случаев и того меньше.

Из электрических антенн наибольшей действующей высотой обладают внешние проволочные Т- и Г-образные антенны. Для них при условии подключения к приемнику с хорошим заземлением действующая высота составляет примерно 70—80% их высоты подвеса над поверхностью земли или крышей дома. В среднем можно считать, что действующая высота таких антенн $h_{д} = 3 \div 5$ *м*.

Несколько худшими параметрами обладают комнатные и автомобильные антенны, у которых $h_{д} = 1{,}0 \div 1{,}5$ *м*. Электрические антенны портативных приемников, работающие без заземления, имеют $h_{д} = 0{,}2 \div 0{,}3$ *м*, а порой и того меньше.

Столь малая действующая высота антенн портативных приемников объясняется тем, что корпус приемника имеет очень слабую емкостную связь с землей, составляющую всего несколько пикофарад. Но она может быть увеличена, например, путем увеличения внешних габаритов корпуса приемника либо установкой приемника в непосредственной близости к поверхности земли или массивного металлического предмета. Первый путь больше подходит к переносным приемникам, второй — к стационарным.

Уже из сравнения приведенных выше данных видно, что антенны электрического типа, применяемые в портативных приемниках, обладают самой малой действующей высотой. А это значит, что чувствительность усилительного тракта портативного приемника должна быть намного больше, чем у стационарных или автомобильных приемников, при одинаковой чувствительности по полю.

Что касается величины $h_{д}$ магнитных антенн, то она зависит от площади рамки или катушки, количества витков, геометрических размеров и магнитных свойств применяемого ферритового сердечника и ряда других параметров. Для примера можно указать, что для ферритовых антенн, работающих в диапазонах длинных и средних

волн, средние значения $h_д=0{,}2\div0{,}3$ *м*. Коротковолновые рамочные антенны могут обеспечить $h_д=0{,}1\div0{,}2$ *м*, а ферритовые $h_д=$ $=0{,}2\div0{,}4$ *м*.

Необходимо отметить, что выбор и расчет перечисленных выше параметров антенны имеют ряд характерных особенностей, которые целесообразно рассматривать применительно к наиболее распространенным типам — штыревым, рамочным и ферритовым — в отдельности.

ШТЫРЕВЫЕ АНТЕННЫ

Устройство. Штыревая телескопическая антенна представляет собой многозвенное подвижное сочленение. Обычно она состоит из восьми полых медных или латунных тонкостенных трубок, входящих одна в другую. На рис. 7 показан внешний вид штыревой телескопической антенны. По окончании приема она утапливается в корпус приемника, что позволяет транспортировать приемник, не боясь повредить ее.

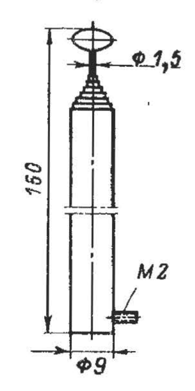


Рис. 7. Внешний вид штыревой телескопической антенны.

Характерным примером может служить штыревая антенна портативного приемника «ВЭФ-12». В выдвинутом состоянии она имеет длину 995 *мм*, а в собранном — не более 160 *мм*. В нижней части антенны имеется латунный винт под резьбу М2, к которому с помощью гайки прижимается контактный лепесток, соединенный с переключателем диапазонов. Диаметр нижнего колена антенны равен 9 *мм*, а наименьшего внутреннего — 1,5 *мм*.

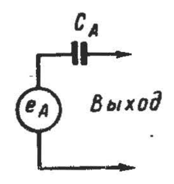


Рис. 8. Эквивалентная схема замещения штыревой антенны.

Нередко радиолюбители пытаются сделать телескопические антенны самостоятельно, из случайных материалов. Здесь следует отметить, что изготовить телескопическую антенну хорошего качества в любительских условиях весьма трудно, поскольку требуются специальные материалы, инструменты и станки. Небрежно выполненная антенна не дает желаемого результата. В таком случае более целесообразно обходиться куском мягкого множительного изолированного провода длиной 700—800 *мм*. Результат будет примерно тот же.

Эквивалентная схема. Эквивалентная схема замещения штыревой антенны, приведенная на рис. 8, говорит о том, что выходное сопротивление антенны носит чисто емкостный характер. Причем емкость $C_А$ стандартной штыревой антенны при наличии заземления может быть определена по приближенной формуле

$$C_А = 10l,\ пф, \tag{5}$$

где l — полная длина антенны, *м*.

Следовательно, для штыревой антенны от «ВЭФ-12», имеющей $l=1$ *м*, $C_А=10 \cdot 1=10$ *пф*. Столь малая величина выходной емкости позволяет подключать штыревые антенны непосредственно к входному контуру портативного приемника либо к части витков катушки индуктивности этого контура.

Следует иметь в виду, что величина емкости $C_А$ зависит также от близости к ней различных металлических предметов и тела слушателя.

Например, если приблизить ладонь к штыревой антенне, то ее емкость относительно земли может увеличиться на 1—2 *пф* за счет дополнительной связи через тело слушателя. Это изменение будет еще более значительным, если дотронуться рукой до антенны.

Зависимость параметров штыревой антенны от близости к ней различных окружающих предметов является ее серьезным недостатком, влияющим на стабильность частоты настройки приемника.

Схемы подключения штыревой антенны. На рис. 9 приведены наиболее распространенные схемы подключения штыревой антенны частично или полностью к входному контуру для усилителей на полевом (рис. 9,*а*, *б*) и биполярном (рис. 9,*в*, *г*) транзисторе. Подключение штыревой антенны к части витков контурной катушки $L_к$ делается с целью уменьшения влияния окружающих предметов и тела слушателя на настройку входного контура. Катушка связи $L_{св}$ применяется для согласования высокого резонансного сопротивления входного контура с низким входным сопротивлением каскада на биполярном транзисторе.

На коротких волнах, где в основном и применяются штыревые антенны, отношение числа витков катушек $L_{св}$ и $L_к$ обычно выбирается равным 1 : 10. Катушки $L_к$ и $L_{св}$, как правило, наматываются

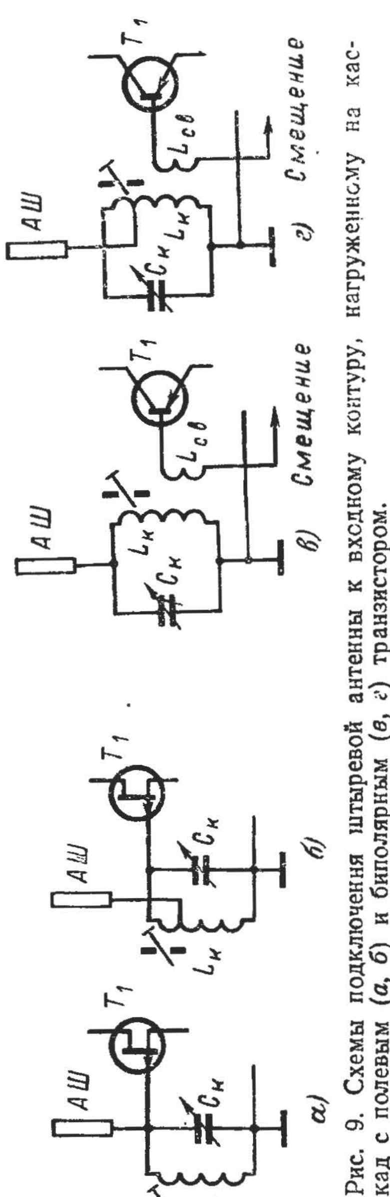


Рис. 9. Схемы подключения штыревой антенны к входному контуру, нагруженному на каскад с полевым (*а*, *б*) и биполярным (*в*, *г*) транзистором.

на одном пластмассовом каркасе с внешним диаметром 6—8 и длиной 15—20 *мм*, снабженном подстроечным сердечником из карбонильного железа типа СЦР-1 или феррита марки 100ВЧ.

Расчет входного контура со штыревой антенной. Расчет входного контура заключается в определении требуемого значения индуктивности контурной катушки $L_к$, числа ее витков, а также числа витков катушки связи $L_{св}$ при использовании выбранного типа каркаса с сердечником.

Величина индуктивности $L_к$ определяется по формуле

$$L_к = \frac{2{,}53 \cdot 10^4}{f^2_{мин} C_{к.макс}}, \text{ мкгн}, \tag{6}$$

где $f_{мин}$ — минимальная частота сигнала данного диапазона, *Мгц*; $C_{к.макс}$ — максимальная емкость контура, *пф*.

Максимальная емкость контура складывается из максимальной емкости конденсатора переменной емкости C, емкости монтажа $C_м$, емкости дополнительных конденсаторов $C_д$, применяемых для сопряжения настроек входного и гетеродинного контуров, и емкости антенны $C_А$:

$$C_{к.макс} = C + C_м + C_д + C_А.$$

Для обзорных диапазонов ДВ, СВ и КВ (25—75 *м*) можно пользовать приближенной формулой

$$C_{к.макс} = 1{,}1C. \tag{7}$$

Для полуобзорного диапазона КВ (25—50 *м*) можно считать

$$C_{к.макс} = 1{,}2C. \tag{8}$$

В любительских условиях величина $L_к$ может определяться по данным рис. 10, где приведены зависимости индуктивности контура от максимальной емкости его для различных диапазонов и поддиапазонов волн. Для коротких волн указывается максимальная длина волны, на которую рассчитывается контур. Например, для диапазона КВ до 49 *м* при емкости $C = 300$ *пф* имеем $L_к = 5{,}3$ *мгн*. Если обратиться к формуле (8), то можно найти максимальную емкость C, равную 250 *пф*. Такой емкостью обладают конденсаторы переменной емкости распространенных приемников «Альпиинист», «Альпинист-2» и «Атмосфера-2м».

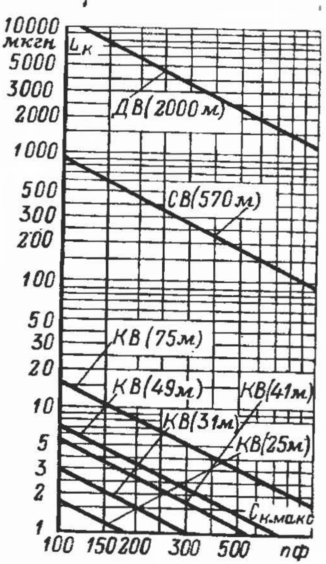


Рис. 10. Зависимость индуктивности входного контура от максимальной емкости контура для различных диапазонов.

Количество витков контурной катушки $L_к$ находится по формуле

$$w_к = M\sqrt{L_к}, \tag{9}$$

где M — коэффициент пропорциональности для применяемого типа каркаса с сердечником, связывающий индуктивность катушки в микрогенри с количеством витков ее намотки.

В любительской практике нашли широкое применение каркасы с сердечниками двух типов: самодельные на базе каркасов ФПЧ звука телевизоров типа «Рубин» и готовые от приемников «Спидола», «ВЭФ-10», «ВЭФ-12» и др. Достоинство первых — доступность изготовления, вторых — высокая добротность. Например, если добротность самодельных катушек на базе ФПЧ «Рубина» не превосходит величины $Q=100$, то для катушек «Спидолы» она достигает $Q=150\div200$. Коэффициент $M=8{,}5$ для самодельных катушек и $M=9{,}5$ для стандартных катушек, если длина намотки не превосходит 15 *мм*.

Для примера определим количество витков $L_к$ для рассмотренного выше случая при использовании катушек «Спидолы»:

$$w_к = 9{,}5\sqrt{5{,}3} = 21 \text{ виток.}$$

Точное значение индуктивности катушки подгоняется путем вращения подстроечного сердечника катушки. Таким образом можно изменять индуктивность катушки в пределах $\pm15\%$.

Количество витков катушки связи $L_{св}$, как уже было сказано ранее, должно быть примерно в 10 раз меньше, чем у $L_к$, т. е. два витка.

Для намотки коротковолновых катушек легче всего подходит провод марки ПЭЛШО диаметром 0,31—0,35 *мм*. Применение более тонкого провода приводит к уменьшению добротности контура, а более толстого затрудняет изготовление катушки. В крайнем случае возможно использование провода в эмалевой изоляции марки ПЭЛ или ПЭВ. При этом добротность контура может уменьшиться примерно на 20% Количество витков останется прежним.

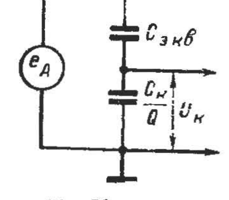


Рис. 11. Упрощенная эквивалентная схема входного контура со штыревой антенной.

Оценка эффективности штыревой антенны. Для оценки эффективности использования входного устройства со штыревой антенной обратимся к рис. 11, где приведена упрощенная эквивалентная схема входного контура со штыревой антенной. Здесь контур рассматривается на резонансной частоте, когда резонансное сопротивление контура в Q раз больше емкостого сопротивления конденсатора $C_к$. Это дает основание в эквивалентной схеме заменить емкость контура, взяв ее в Q раз меньшей.

Конденсатор $C_{экв}$, заменивший $C_А$, является эквивалентной емкостью штыревой антенны, не имеющей заземления, с учетом влияния дополнительной емкости, вносимой в антенну телом слушателя. Расчет величины $C_{экв}$ весьма сложен, поэтому в любительской практике удобнее пользоваться приближенными данными табл. 2, где указаны значения $C_{экв}$ для различных значений максимальных габаритных размеров портативного приемника, т. е. его корпуса.

Из табл. 2 видно, что из-за отсутствия заземления емкость штыревой антенны увеличивается в 1,5—3 раза по сравнению с рассчитанным по формуле (5).

Таблица 2

Зависимость эквивалентной емкости антенны от габаритов радиоприемника

Максимальный размер корпуса приемника, *мм*	110—140	140—165	165—210	210—270	270—350
Эквивалентная емкость антенны, $C_{экв}$, *пф*	3,0	3,6	4,5	5,6	6,8

Как видно из рис. 11, конденсаторы $C_{экв}$ и $C_к/Q$ образуют емкостный делитель напряжения сигнала, коэффициент передачи которого равен:

$$K = \frac{e_A}{U_к} = \frac{C_{экв}Q}{QC_{экв} + C_к}, \qquad (10)$$

где e_A — наведенная в антенне э. д. с.; $U_к$ — напряжение сигнала на контуре.

Из последней формулы следует, что коэффициент передачи K будет увеличиваться по мере уменьшения отношения $C_к/Q$ при заданной $C_{экв}$ за счет уменьшения емкости контура и увеличения его добротности. А это значит, что при настройке контура с помощью конденсатора переменной емкости, когда емкость конденсатора меняется в несколько раз (до 6—9), будет происходить изменение чувствительности приемника в значительных пределах. Причем чем длиннее волна, тем больше емкость конденсатора настройки и тем меньше коэффициент передачи входного устройства.

Оценим величину коэффициента K для случая, когда обзорный диапазон КВ 25—75 *м* перекрывается с помощью конденсатора переменной емкости. Минимальная емкость контура $C_{к.мин}=40$ *пф;* максимальная емкость контура $C_{к.макс}=360$ *пф*. Добротность контура $Q=80$ не меняется при перестройке по диапазону. Максимальный габаритный размер корпуса приемника 210 *см.*

Из табл 2 получаем $C_{экв}=5$ *пф* (берем среднее между значениями для 165 и 270 *мм*). После подстановки исходных данных в формулу (10) находим, что при минимальной емкости контура коэффициент передачи по напряжению $K=0{,}9$, а при максимальной $K=0{,}09$. Если при проведении расчета учесть обычно наблюдаемое уменьшение добротности контура по мере увеличения его емкости, то станет очевидным еще большее различие в коэффициентах передачи входного устройства со штыревой антенной при перестройке по диапазону. Измерения показывают, что для обзорных диапазонов различие может составлять до 8—10 раз.

Как можно бороться с таким нежелательным явлением? Основной способ — сужение полосы частот, перекрываемых диапазоном. Обычно с этой целью применяются растянутые и полуобзорные диапазоны с отдельной входной контурной катушкой на каждый диапазон, хотя это и усложняет конструкцию приемника. В простейших любительских приемниках целесообразно иметь один полуобзорный диапазон, например 25—31 или 41—49 *м*, либо один полуобзорный диапазон 25—50 *м*.

Расчет чувствительности приемника, ограниченной внутренними шумами, в общем случае весьма сложен. Но приближенно можно считать, что для обеспечения требуемого отношения сигнал внутренний шум не менее 20 *дб* необходимо, чтобы напряжение сигнала на входе первого усилительного каскада приемника было в 20—30 раз больше эффективного напряжения внутренних шумов приемника, пересчитанных ко входу этого каскада.

В свою очередь приведенное напряжение внутренних шумов зависит от параметров и схемы включения входных контуров и транзисторов, а также от ряда других факторов. В большинстве случаев величина эффективного напряжения внутреннего шума на входе составляет не менее 0,1—0,2 *мкв*. А это значит, что чувствительность приемника будет ограничена шумами при напряжении сигнала на входе первого усилительного каскада менее 2—6 *мкв*.

Если напряжение сигнала будет больше указанной выше величины, то чувствительность приемника будет ограничена усилением и ее расчет можно производить по приводимой ниже методике.

Чувствительность приемника со штыревой антенной, ограниченная усилением, может быть определена по следующей формуле:

$$U_{вх} = Kh_д \frac{w_{св}}{w_к} E, \text{ мкв},$$

где $U_{вх}$ — чувствительность со входа первого усилительного каскада, *мкв*; E — чувствительность приемника по полю, *мкв/м*; K — коэффициент передачи входной цепи; $w_{св}/w_к$ — отношение числа витков катушек $L_{св}$ и $L_к$; $h_д$ — действующая высота антенны, *м*.

Если ориентироваться на следующие усредненные значения: $h_д = 0{,}25l$, где l — длина антенны; $K = 0{,}8$; $w_{св}/w_к = 0{,}1$, то получим более простую формулу:

$$U_{вх} \approx 0{,}020\,E. \qquad (11)$$

Из формулы (11) следует, что у приемника со штыревой антенной чувствительность по полю численно в 50 раз больше, чем со входа первого усилительного каскада. Например, если известно, что приемник должен обладать чувствительностью по полю, равной $E = 200$ *мкв/м*, то это значит, что чувствительность со входа первого каскада должна быть не хуже 4 *мкв*. Для сравнения можно указать, что лучшие промышленные и любительские приемники имеют чувствительность со входа первого каскада $U_{вх} = 1$ *мкв*. Следовательно, такой приемник, снабженный стандартной штыревой антенной длиной около 1 *м*, может обладать чувствительностью по полю, равной 50 *мкв/м*.

На практике чувствительность приемников со штыревыми антеннами нередко определяется напряжением сигнала, которое необходимо подвести непосредственно к антенне через конденсатор небольшой емкости, например от измерительного генератора, что обычно имеет место при снятии характеристик приемника. В таком случае чувствительность с антенного гнезда приемника связана с чувствительностью по полю следующим соотношением:

$$U_А = Kh_д E. \qquad (12)$$

Если в формулу (12) подставить приведенные ранее усредненные значения исходных данных, то получим простое выражение:

$$U_А = 0{,}8 \cdot 0{,}25E = 0{,}2E, \text{ мкв}.$$

Это значит, что чувствительность с антенного гнезда в 5 раз меньше чувствительности приемника по полю. И, наоборот, чувствительность по полю в 5 раз больше чувствительности с антенного гнезда.

Например, согласно справочным данным портативные приемники «Спидола» и «ВЭФ-12» имеют реальную чувствительность с антенного гнезда в пределах 40—100 *мкв*. Следовательно, чувствительность по полю таких приемников составит 200—500 *мкв/м*.

Расчет избирательности входного контура. Избирательность характеризует способность приемника выделять полезный сигнал на частоте настройки от других сигналов, действующих по другим каналам. Различаются следующие виды избирательности:

1. Избирательность по соседнему каналу, частота которого отличается от частоты сигнала на ± 9 *кгц*.

2. Избирательность по зеркальному каналу, частота которого отличается от частоты сигнала на удвоенную промежуточную частоту. В отечественных радиовещательных приемниках промежуточная частота равна 465 ± 2 *кгц*, а частота зеркального канала находится выше частоты сигнала на $2 \times 465 = 930 \pm 4$ *кгц*.

3. Избирательность по промежуточной частоте 465 ± 2 *кгц*.

4. Избирательность по побочным каналам, частоты которых определяются выражением

$$f_n = \frac{m f_г \pm n f_{п.ч}}{m},$$

где $f_г$ — частота гетеродина; $f_{п.ч}$ — промежуточная частота; m, n — целые числа, равные 1, 2, 3, ..., M.

5. Пространственная избирательность характеризует ослабление помехи в зависимости от взаимного положения приемника с антенной, принимаемой и мешающей радиостанций.

Указанные выше виды избирательности определяются отношением напряженностей полей помехи и сигнала, создающих на выходе приемника стандартную выходную мощность, равную 5 или 50 *мвт*. Принято избирательность оценивать в децибелах (*дб*). Например, если указывается, что избирательность приемника по соседнему каналу составляет 20 *дб*, то это значит, что мощности полезного и мешающего сигналов на выходе приемника будут равны между собой в том случае, когда напряженность поля мешающего сигнала на 20 *дб* выше напряженности поля полезного сигнала.

Следует отметить, что избирательность приемника в целом складывается из избирательностей отдельных его каскадов, в том числе антенны.

В реальных условиях на входе приемника действует большое число сигналов различной мощности. При этом вследствие некоторой нелинейности входной характеристики усилительного тракта приемника до детектора наблюдается перекрестная модуляция. Наиболее эффективным способом борьбы с этим видом искажений полезного сигнала является всемерное уменьшение и подавление на входе приемника сигналов мешающих станций.

Что касается входного устройства со штыревой антенной, то с учетом сказанного ранее можно считать реальным обеспечение им только частотной избирательности по соседнему и зеркальному каналам, а также по промежуточной частоте. Расчет этих видов избирательности довольно сложен, поэтому в любительских условиях целесообразно пользоваться данными рис. 12, где представлены за-

висимости избирательности по соседнему (*а*) и зеркальному (*б*) каналам от частоты сигналов для различных значений добротности входного контура. Здесь, так же как и в предшествующих расчетах чувствительности приемника, имеется в виду добротность входного контура с учетом шунтирования его антенной и входным сопротивлением усилителя.

В качестве примера определим избирательность входного устройства приемника со штыревой антенной в диапазоне КВ 25—75 *м* (4—12 *Мгц*), если добротность входного контура $Q=50$. Согласно данным рис. 12,*а* избирательность по соседнему каналу практически ничтожна, составляя по диапазону около 0,5—2 *дб*, что

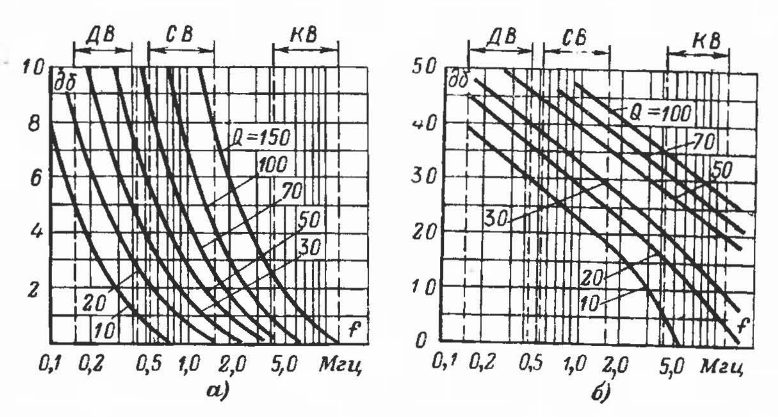


Рис. 12. Зависимость избирательности входного контура приемника по соседнему (*а*) и зеркальному (*б*) каналам от частоты сигнала и добротности нагруженного контура *Q*.

вообще характерно для входных устройств коротковолновых диапазонов. Из рис. 12,*б* следует, что избирательность по зеркальному каналу может составлять 20—26 *дб*.

Следует иметь в виду, что проведенный расчет предполагает точную настройку входного контура на частоту сигнала и полное сопряжение частоты гетеродина с частотой сигнала. Практически же эти условия выполняются только в нескольких точках диапазона, вследствие чего реальные значения избирательности могут быть ниже расчетных.

Недостатки приемников со штыревыми антеннами. Следует отметить три существенных недостатка приемников, снабженных штыревыми антеннами:

1. Влияние окружающих предметов и в первую очередь тела слушателя на работу штыревой антенны, что проявляется в расстройке частоты входного контура, а нередко и уходе частоты гетеродина, причем особенно сильно это явление сказывается на самых коротких волнах. Порой бывает достаточно поднести к антенне ладонь, чтобы расстроить приемник настолько, что станция будет потеряна. И если в промышленных приемниках это проявляется в меньшей степени, чем в простейших любительских конструкциях, то это достигается дополнительным усложнением схемы, в особенности за

счет увеличения минимальной емкости входного контура до 100—120 *пф*.

2. На очень высоких частотах, совпадающих с частотами телевизионных каналов, начинают сильно проявляться собственные резонансные свойства штыревой антенны, поскольку на этих частотах антенну уже нельзя считать «короткой». С одной стороны, это создает благоприятные условия проникновения на вход первого каскада усиления мощного телевизионного сигнала. С другой стороны, сама антенна может излучать высшие гармоники гетеродина, если они каким-либо образом поступают на вход приемника. В частности, такое излучение создают супергетеродины с совмещенным гетеродином, т. е. когда первый каскад усиления выполняет одновременно функции смесителя и гетеродина. Но излучать гармоники могут и супергетеродины с отдельным гетеродином, если режим работы смесителя выбран неправильно. Излучающие приемники являются источником дополнительных помех соседним радиослушателям.

3. Штыревые телескопические антенны довольно хрупки и недолговечны. От частого употребления быстро изнашиваются скользящие контакты, поддерживающие антенну в вытянутом состоянии. В результате антенна теряет устойчивость, произвольно складывается или валится в сторону. При всем этом сильно ухудшается состояние электрического контакта между отдельными элементами антенны, что ведет к снижению действующей высоты антенны в целом. Кроме того, плохой контакт между элементами может быть источником дополнительных помех, проявляющихся в виде тресков при колебаниях антенны.

От указанных недостатков в значительной степени свободны антенны магнитного типа (рамочные и ферритовые).

РАМОЧНЫЕ АНТЕННЫ

В настоящее время рамочные антенны применяются в портативных приемниках исключительно на коротких волнах, причем различаются одновитковые и многовитковые рамочные антенны.

Одновитковые рамочные антенны встречаются главным образом в зарубежных портативных приемниках. Внешний вид одного из таких приемников японского производства типа Т-360, выпускаемого фирмой «National», показан на рис. 13. Обращает на себя внимание то, что хотя одновитковая рамочная антенна проще по устройству и долговечнее в работе, все же она громоздка для портативного приемника, даже переносного.

Многовитковые рамочные антенны значительно меньше по размерам, вследствие чего они могут быть установлены непосредственно внутри корпуса приемника, непосредственно на монтажной плате. В свою очередь многовитковые рамочные антенны могут быть проволочными или печатными. Первые изготовляются путем намотки некоторого числа витков изолированного провода по периметру или поверхности пластмассового каркаса. Вторые изготовляются печатным способом подобно печатным монтажным платам самих приемников.

Наилучшими приемными свойствами обладают рамочные антенны, у которых витки намотки располагаются в одной плоскости по спирали. Сама спираль может быть круглой или прямоугольной.

Квадратная спираль более выгодна с точки зрения лучшего использования объема корпуса приемника и удобства ее изготовления.

Действующая высота любой рамочной антенны может быть определена по формуле

$$h_{\text{д}} = \frac{2\pi}{\lambda} SQ, \text{ м}, \tag{13}$$

где λ — длина волны, *м*; S — суммарная площадь поверхности, охватываемой всеми витками рамки, *м*^{2}; Q — добротность нагруженной рамки, настроенной в резонанс с частотой сигнала.

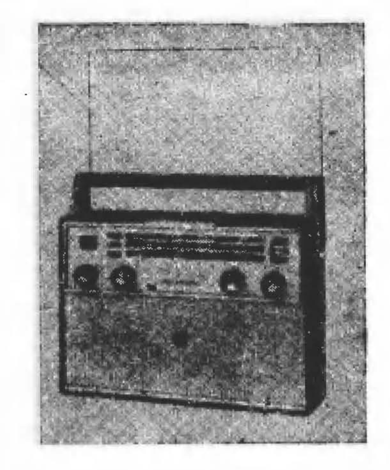


Рис. 13. Внешний вид портативного приемника с одновитковой рамочной антенной.

Величина S для одновитковой рамочной антенны равна геометрической площади, ограниченной контуром рамки. Если рамка многовитковая и все витки одинаковы, то величина S равна площади, ограниченной контуром одного витка, умноженной на число витков. Для многовитковых рамочных антенн со спиральным расположением витков, имеющих прямоугольную форму как на рис. 14, общая площадь рамки может быть найдена по формуле

$$S \approx 0{,}27 \frac{a^3}{c}, \text{ см}^2, \tag{14}$$

где a — сторона квадрата, *см*; c — шаг намотки, *см*.

Индуктивность рамки, изображенной на рис. 14, приближенно определяется формулой

$$L_{\text{р.а}} = 0{,}0125S, \text{ мкгн}. \tag{15}$$

Необходимо подчеркнуть, что подобные рамочные антенны лучше всего изготовлять печатным способом. Например, измерения показали, что рамочная антенна, изготовленная на основе фольгированного гетинакса, имела собственную добротность $Q_0 = 100 \div 150$. Такая же антенна на фольгированном стеклотекстолите обеспечивала $Q_0 = 150 \div 200$. Аналогичная по своим размерам и индуктивности проволочная антенна имела $Q_0 = 80 \div 120$.

Рис. 14. Внешний вид многовитковой спиральной рамочной антенны.

Эквивалентная схема рамочной антенны. На рис. 15 приведены эквивалентная схема замещения рамочной антенны (*а*), а также схемы подключения ее к первому усилительному каскаду прием-

ника на полевом транзисторе (*б*) и обычном биполярном транзисторе (*в*).

При использовании полевого транзистора (рис. 15,*б*) резонансный входной контур, образованный собственной индуктивностью антенны $L_{р.а}$ и емкостью $C_к$, может быть подключен непосредственно ко входу усилителя. Достоинством такой схемы включения являются простота устройства и сохранение высокой добротности контура.

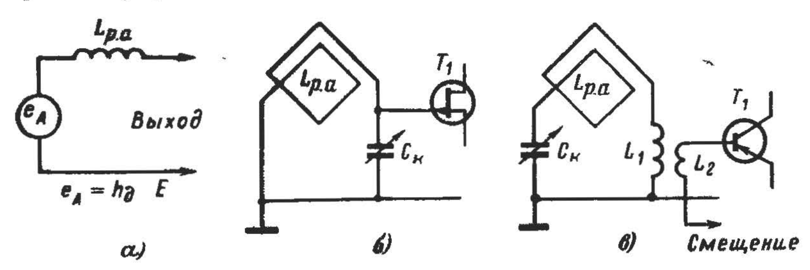


Рис. 15. Эквивалентная схема замещения рамочной антенны (*а*) и схемы ее подключения к каскаду на полевом (*б*) и биполярном (*в*) транзисторах.

В случае применения биполярных транзисторов (рис. 15,*в*) для согласования высокого резонансного сопротивления контура с низким входным сопротивлением каскада применяется дополнительный трансформатор, первичная обмотка которого L_1 включена последовательно с обмоткой рамки, а вторичная L_2 подключена ко входу усилителя. Наличие дополнительного трансформатора хотя и несколько усложняет схему входного устройства, но зато позволяет в некоторых пределах плавно подстраивать частоту резонанса с помощью сердечника этого трансформатора.

Поскольку индуктивности $L_{р.а}$ и L_1 включены последовательно, суммарная индуктивность контура будет равна:

$$L_к = L_{р.а} + L_1.$$

С точки зрения улучшения добротности контура желательно брать величину L_1 как можно меньшей. Для расширения пределов регулирования индуктивности контура при его настройке, наоборот, необходимо увеличивать L_1. В любительских конструкциях целесообразно выбирать $L_{р.а} = 0{,}8\,L_к$, а $L_1 = 0{,}2\,L_к$. Величина же $L_к$ во всех случаях может быть определена по формуле (6) и данным рис. 10.

Зная требуемую величину $L_{р.а}$ и пользуясь приведенными выше формулами, нетрудно провести приближенный расчет печатной рамочной антенны. Действительно, из формулы (15) следует, что общая площадь всех витков рамки должна быть равна

$$S = 80 L_{р.а},\ см^2. \qquad (16)$$

По найденному значению S и выбранному шагу намотки c из формулы (14) находим размер стороны квадрата внешнего витка рамки:

$$a = 1{,}55\sqrt[3]{Sc}\,,\ см. \qquad (17)$$

В любительских условиях целесообразно применять относительно широкий шаг намотки $c = 0{,}3 \div 0{,}5$ *см*. Толщина печатных линий вит-

ков в плане должна быть в пределах 1—3 *мм*, но одинаковой на всем поле рамки.

Согласующий трансформатор L_1L_2 обычно делается подобно катушкам входного контура со штыревой антенной, но с индуктивностью катушки L_1, примерно в 5 раз меньшей, чем $L_к$. Методика расчета количества витков обеих катушек остается прежней, за исключением того, что отношение витков катушек L_2 к L_1 должно быть равно 1 : 2. Количество витков L_1 находится по формуле (9).

Чувствительность приемника с рамочной антенной. Чувствительность приемника с рамочной антенной по полю и со входа первого каскада усиления связаны между собой соотношением

$$U_{вх} = \sqrt{\frac{L_1}{L_к}} h_д \frac{w_2}{w_1} E, \text{ мкв},$$

где w_2/w_1 — отношение витков катушек L_2 и L_1.

Считая, что в среднем $L_1 = 0{,}2L_к$; $w_2 = (0{,}5 \div 0{,}7)\, w_1$, получаем:

$$U_{вх} \approx 0{,}1 h_д E, \text{ мкв}, \qquad (18)$$

или

$$E \approx 10 \frac{U_{вх}}{h_д}, \text{ мкв/м}. \qquad (19)$$

Избирательность входного устройства приемника с рамочной антенной. Избирательность по соседнему и зеркальному каналам определяется по данным рис. 12, подобно тому как это делалось для случая со штыревой антенной. Кроме того, за счет пространственной избирательности по азимуту избирательность по всем каналам может быть улучшена еще на 10—16 *дб* дополнительно.

Пример расчета рамочной антенны. Проведем расчет рамочной антенны любительского портативного приемника, имеющей конфигурацию, как на рис. 14, и включенной по схеме рис. 15,*в*. Диапазон полуобзорный; КВ 25—50 *м*. Максимальная емкость контура $C_{к.макс} = 420$ *пф*. Для изготовления согласующего трансформатора L_1L_2 применяется каркас катушки приемника «Спидолы».

Последовательность расчета следующая:

1. Из рис. 10 для $C_{к.макс} = 420$ *пф* по кривой «49 *м*» находим $L_к = 1{,}95$.

2. Выбираем $L_{р.а} = 0{,}85\, L_к$; $L_1 = 0{,}15\, L_к$, откуда получаем: $L_{р.а} = 0{,}85 \cdot 1{,}95 = 1{,}65$ *мкгн*; $L_1 = 0{,}15 \cdot 1{,}95 = 0{,}30$ *мкгн*.

3. Согласно формуле (16) $S = 80 \cdot 1{,}65 = 132$ *см*^{2}.

4. Выбираем шаг намотки $c = 0{,}5$ *см* и по формуле (17) находим размер стороны квадрата внешнего витка рамки:

$$a = 1{,}55 \sqrt[3]{132 \cdot 0{,}5} = 6{,}1 \text{ см}.$$

5. По формуле (9) определяем количество витков катушки L_1:

$$w_1 = 9{,}5\sqrt{0{,}3} = 5 \text{ витков}; \; w_2 = 0{,}5 w_1 = 2{,}5 \text{ витка}.$$

6. Считаем, что для изготовления рамки применяется фольгированный гетинакс, обеспечивающий $Q_0 = 140$. Полагаем, что добротность нагруженной рамки составит $Q = 0{,}5$, $Q_0 = 70$.

7. Действующая высота определяется по формуле (13)

$$h_д = \frac{2\pi \cdot 132 \cdot 10^{-4}}{\lambda} \cdot 70, \text{ м}.$$

Учитывая, что $\lambda=25\div50$ *м*, получаем изменение $h_д$ по диапазону

$$h_д=0,1\div0,2 \ м.$$

8. Задавшись минимальным значением $h_д=0,1$ *м*, находим взаимозависимость чувствительности по полю E и со входа первого каскада усиления, пользуясь формулами (18) и (19):

$$U_{вх}=0,1\cdot0,1E=0,01E, \ мкв; \ E=100 \ U_{вх}, \ мкв/м.$$

Если положить $U_{вх}=10$ *мкв*, то получим $E=100\cdot10=1\,000$ *мкв/м*. Если необходимо обеспечить чувствительность по полю $E=300$ *мкв/м*, то потребуется усилительный тракт, имеющий $U_{вх}=0,01\cdot300=3$ *мкв*.

9. Избирательность входного устройства приемника согласно данным рис. 12 составляет по соседнему каналу около 0,5—1,0 *дб*, а по зеркальному 23—26 *дб*. За счет пространственной избирательности возможно улучшение избирательности по всем каналам еще на 10—16 *дб*.

Как видно из сравнения результатов расчета для штыревой и рамочной антенн, последияя уступает первой только по величине действующей высоты и имеет примерно ту же избирательность. При этом следует учесть, что рамочная антенна имеет малые размеры и на нее практически не влияет тело слушателя.

Недостатки приемников с рамочными антеннами. Основным недостатком рамочных антенн является относительно большой уровень паразитных связей с другими каскадами за счет электромагнитного поля. С целью устранения влияния нежелательных связей рамочные антенны размещаются по возможности дальше от других каскадов, металлических и ферритовых деталей (трансформаторов НЧ, громкоговорителей, источника питания, экранов и т. п.).

Другим недостатком является малый коэффициент изменения индуктивности входного контура с проволочной рамочной антенной, что затрудняет настройку приемника. В случае применения печатных рамочных антенн возможно изменение индуктивности в больших пределах, так как при этом можно подпаиваться практически к любому участку спирали рамки.

Третьим недостатком можно считать меньшую чувствительность приемника с рамочной антенной, чем со штыревой. Возможно, именно поэтому на КВ применяются штыревые антенны, а не рамочные. Но в любительских условиях простота и доступность изготовления рамки могут быть веским аргументом в их пользу по сравнению со штыревыми антеннами.

Следует отметить, что в последние годы наблюдается энергичное вытеснение из портативных приемников рамочных и штыревых антенн ферритовыми антеннами практически на всех диапазонах от ДВ до УКВ.

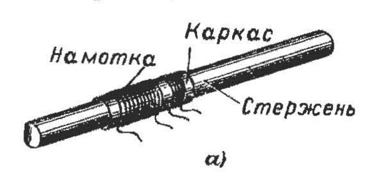
ФЕРРИТОВЫЕ АНТЕННЫ

Ферритовая антенна (рис. 16,*а*) представляет собой удлиненный ферритовый стержень, на поверхности которого помещается каркас с намотанной на нем катушкой изолированного провода.

Эквивалентная схема замещения ферритовой антенны и наиболее распространенные виды связи ее с последующими каскадами на полевых и биполярных транзисторах приведены соответственно на

рис. 16,*б, в, г*. Как видно, здесь много общего со схемой включения рамочной антенны. Для ферритовой антенны в случае применения биполярных транзисторов катушка связи $L_{св}$ наматывается на одном сердечнике с контурной катушкой $L_к$. Во всех случаях конденсатор переменной емкости подключается параллельно контурной катушке непосредственно либо через сопрягающий конденсатор, ограничивающий перекрытие по частоте.

Ферриты. Ферриты представляют собой керамику, спрессованную из окислов некоторых металлов (никеля, марганца) и обожженную в специальных печах при температуре 900—1 300 °С. Характерной особенностью ферритов является то, что они обладают повышенной магнитной проницаемостью подобно ферромагнитным материалам (железу и стали), оставаясь при этом диэлектриками. По этой при-



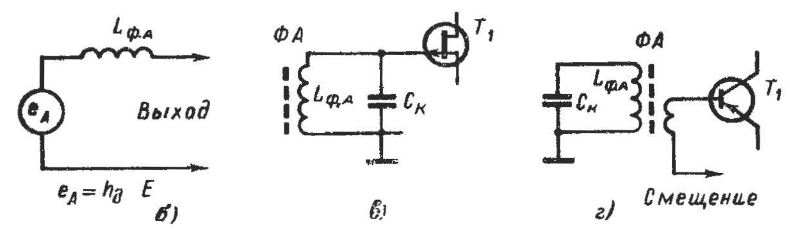


Рис. 16. Внешний вид ферритовой антенны (*а*), эквивалентная схема ее замещения (*б*) и схемы подключения ко входу каскада на полевом (*в*) и биполярном (*г*) транзисторах.

чине ферриты часто называют магнитодиэлектриками. Начальная магнитная проницаемость μ_0 может составлять от нескольких единиц до нескольких тысяч.

В приемных ферритовых антеннах применяются главным образом ферриты на основе никеля и марганца. Условное обозначение ферритов состоит из цифровых и буквенных индексов. Цифры указывают среднее для данного типа значение μ_0. Последующие буквы расшифровываются так: Н — низкочастотный; ВЧ — высокочастотный; Н — никелевый; М — марганцевый.

Например, феррит марки 400НН расшифровывается так: низкочастотный никелевый феррит с начальной проницаемостью $\mu_0=400$.

Ферриты с большим значением μ_0 применяются главным образом на длинных и средних волнах, т. е. на частотах не вы-

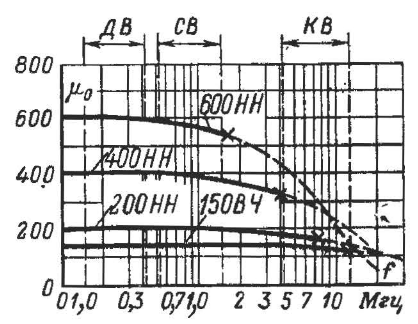


Рис. 17. Зависимость величины начальной проницаемости μ_0 различных марок феррита от частоты сигнала.

ше 1,5—2,0 *Мгц*. Это связано с тем, что электрические характеристики ферритов на более высоких частотах ухудшаются. В качестве примера на рис. 17 приведены зависимости величины μ_0 от частоты сигнала для ферритов различных марок. Из рис. 17 видно, что феррит марки 400НН работает относительно хорошо до частот 3—4 *Мгц*, а 100НН — 10—12 *Мгц*, т. е. на частотах до КВ включительно.

Недостатком ферритов является относительно высокая нестабильность параметров. Например, величина μ_0 может изменяться до 0,5% в год и на 0,3% при изменении температуры на каждые 10 °С. Но чем меньше начальное значение μ_0, тем стабильнее параметры ферритового сердечника.

Действующая высота ферритовой антенны. Действующая высота ферритовой антенны определяется по формуле

$$h_д = \frac{2\pi}{\lambda} w_к S \mu_д Q, \ м, \qquad (20)$$

где $w_к$ — количество витков контурной катушки антенны; S — площадь одного витка катушки, $м^2$; $\mu_д$ — действующее значение относительной магнитной проницаемости сердечника данной конфигурации; λ — длина волны, *м*; Q — эквивалентная добротность нагруженной антенны, настроенной в резонанс с частотой сигнала.

Для цилиндрических сердечников площадь витка находится по формуле

$$S = \frac{\pi}{4} D^2, \ м^2,$$

где D — диаметр намотки катушки, *м*.

Для сердечников с прямоугольным поперечным сечением площадь витка равна произведению высоты и ширины намотки.

Таблица 3

Величины $\mu_д$ для сердечников с начальной проницаемостью

l/d	$\mu_0=5$	$\mu_0=10$	$\mu_0=100$	$\mu_0\geqslant200$	l/d	$\mu_0=5$	$\mu_0=10$	$\mu_0=100$	$\mu_0\geqslant200$
1	2,25	3,0	3,2	3,5	6	4,5	7,8	25	31
2	3,6	4,6	6,5	8,0	8	4,7	8,3	34	37
3	3,85	6,0	10	12	10	4,8	9,1	41	63
4	4,2	6,7	15	18	15	4,85	9,4	52	78
5	4,35	7,2	20	24	20	4,90	9,6	60	95

Величина $\mu_д$ определяется отношением его длины к диаметру поперечного сечения. Эта зависимость представлена в виде табл. 3 для различных значений μ_0 и l/d, где l — длина стержня; d — диаметр его. Данные таблицы могут быть использованы также при расчете ферритовых антенн с прямоугольными сечениями, для чего нужно подставить значение эквивалентного по площади поперечного сечения цилиндрического стержня, диаметр которого равен:

$$d_э = 2\sqrt{\frac{ch}{\pi}},$$

где c, h — размеры поперечного сечения прямоугольного сердечника, *м*; $d_э$ — диаметр эквивалентного по площади S цилиндрического стержня, *м*.

Например, ферритовый сердечник марки 400НН, имеющий размеры 3×20×115 *мм*, эквивалентен цилиндрическому сердечнику той же длины (115 *мм*) диаметром примерно 9 *мм*.

Таким образом, с точки зрения достижения необходимого значения действующей высоты сердечники в виде цилиндров и прямоугольников примерно одинаковы. Но учитывая ограниченные размеры портативных приемников, прямоугольные сердечники позволяют собирать более компактные конструкции. Этим, возможно, объясняется, что практически во всех карманных и сверхминиатюрных приемниках отечественного и зарубежного производства применяются исключительно сердечники прямоугольной формы толщиной 3—5 и шириной 15—20 *мм*.

Конструктивный расчет ферритовых антенн. Расчет ферритовых антенн включает в себя выбор марки ферритового сердечника, определение размеров катушки и числа ее витков, а также выбор элементов связи с последующим каскадом усиления приемника. Кроме того, необходимо также определить возможные значения добротности контура антенны, действующую высоту и избирательность ее.

Выбор марки ферритового стержня обусловлен максимальной частотой сигнала данного диапазона волн. В частности, в диапазонах длинных и средних волн применяются цилиндрические и прямоугольные сердечники марки 600НН или 400НН. На коротких волнах используются сердечники марки 150ВЧ или 100ВЧ. В некоторых случаях низкочастотные сердечники применяются при работе в длинноволновом поддиапазоне коротких волн, например 41—49 *м*. Некоторое ухудшение параметров ферритовой антенны на этих волнах компенсируется простотой и доступностью ее изготовления.

В отечественных приемниках прошлых лет применялись сердечники марки Ф-600 (600НН) в виде цилиндров диаметром 8 и длиной 65, 140 и 160 *мм*, а также прямоугольные сердечники длиной 100 и сечением 4×16 и 3×20 *мм*. В современных приемниках в диапазонах ДВ и СВ применяются ферритовые стержни марки 400НН в виде цилиндров диаметром 8 и длиной 80, 100, 125, 140 и 160 *мм*, а также плоские сердечники с размерами 4×16×80, 4×16×100, 4×16×125, 3×20×100 и 3×20×125 *мм*. Такое разнообразие типоразмеров сердечников позволяет конструировать различные по размерам и эффективности ферритовые антенны.

Нередко радиолюбители испытывают затруднения, повторяя конструкции прошлых лет, где использовался феррит марки Ф-600: чем его заменить? Расчеты и практика показывают, что при использовании феррита 400НН намоточные данные катушек можно оставлять неизменными. Качество работы приемника от такой замены может только улучшиться, особенно на СВ.

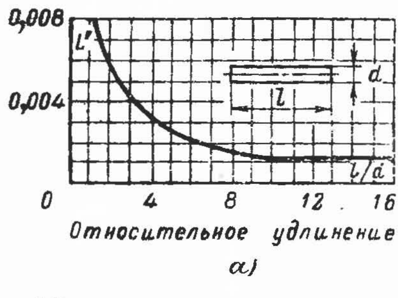
Расчет количества витков ферритовой антенны. Количество витков контурной катушки ферритовой антенны приближенно определяется по формуле

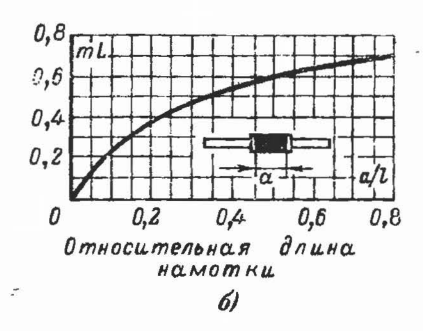
$$w_к = \sqrt{\frac{L_к}{L' D_к \mu_д m_L p_L q_L}}, \qquad (21)$$

где $L_к$ — требуемая величина индуктивности контура, *мкгн*; D — диаметр намотки катушки, *см*; $\mu_д$ — действующая магнитная прони-

цаемость сердечника, определяемая по данным табл. 3; L' — коэффициент пропорциональности, зависимый от удлинения стержня антены и определямый по данным рис. 18,*а*; m_L — коэффициент пропорциональности, зависимый от отношения длины намотки a к длине стержня l, определяемый по данным рис. 18,*б*; p_L — коэффициент пропорциональности, учитывающий смещение середины катушки относительно центра стержня, вычисляемый по данным рис. 18,*в*; q_L — коэффициент пропорциональности, равный отношению квадратов диаметров намотки и сердечника.

Требуемая величина $L_к$ находится так же, как это делалось для других антенн, а именно по данным формулы (6) и рис. 10.





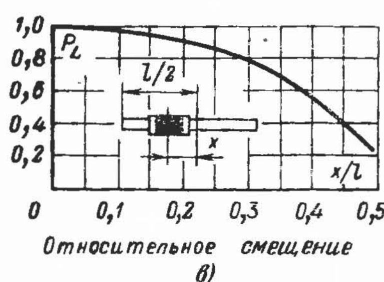


Рис. 18. Расчетные значения коэффициентов пропорциональности L' (*а*), m_L (*б*), P_L (*в*).

Как видно из рис. 18,*а*, при отношении длины стержня к его диаметру более 10 величина коэффициента L' практически не зависит от длины стержня и равна 0,001. А это значит, что при диаметре сердечника 8 *мм* уже нецелесообразно увеличивать длину стержня более чем до 100 *мм*. Если же имеется стержень большей длины, например 140 *мм*, то его можно использовать для изготовления двухдиапазонной ферритовой антенны, на одном конце которой может размещаться контурная катушка ДВ, а на другом — СВ или КВ. При этом важно, чтобы расстояние между катушками различных диапазонов было не менее 8—10 диаметров сердечника. В противном случае будет наблюдаться взаимное влияние катушек, что приведет к ухудшению приемных свойств ферритовой антенны на обоих диапазонах.

Из рис. 18,*б* и *в* видно, что увеличение действующей высоты антенны возможно за счет уменьшения коэффициентов m_L, p_L, наблюдаемое при использовании относительно коротких каркасов для намотки катушек и смещении каркаса с намоткой ближе к одному из концов стержня. Установлено, что длина намотки в лучшем случае должна составлять около 20—30% длины стержня. Величина

смещения по оси сердечника может колебаться в значительных пределах в зависимости от числа диапазонов, частотных свойств феррита и требуемой величины добротности контура.

На рис. 19 приведены усредненные зависимости добротности ненагруженной контурной катушки, намотанной на каркасе, свободно перемещающемся по ферритовому стержню марки 400НН с размерами 3×20××115 *мм*, от смещения по оси сердечника на различных диапазонах (ДВ, СВ и КВ). Пунктиром обозначена относительная величина индуктивности контурной катушки в процентах ее максимального значения при размещении намотки посредине сердечника.

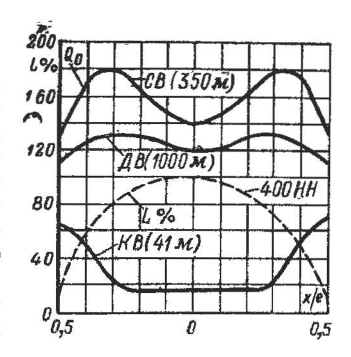


Рис. 19. Усредненная зависимость добротности ненагруженного контура Q_0 ферритовой антенны и относительной величины его индуктивности L от положения каркаса с намоткой на сердечнике на различных диапазонах.

Как видно из рис. 19, минимальная добротность контурной катушки наблюдается при максимальной индуктивности ее. Объясняется это сильным влиянием собственных потерь сердечника на параметры катушки. При смещении катушки ближе к одному из концов сердечника это влияние потерь сердечника уменьшается быстрее, чем падает индуктивность катушки. Вследствие этого добротность контура по мере удаления катушки от центра сердечника повышается, достигая своего максимального значения где-то вблизи конца стержня. И чем хуже частотные свойства феррита, тем заметнее разница в величине добротности контура при перемещении по стержню; на ДВ оно самое малое, на КВ — наибольшее.

Из рис. 19 видно, что вполне возможно размещение на одном относительно длинном стержне из феррита 400НН одновременно трех контурных катушек диапазонов ДВ, СВ и КВ. При этом катушка ДВ размещается в середине, а СВ и КВ — по краям.

Теперь о выборе оптимального диаметра намотки. Некоторые радиолюбители считают, что качество антенны будет наивысшим, если намотку ее катушек производить непосредственно поверх стержня. Но на самом деле это не так. При намотке непосредственно на поверхности стержня увеличивается межвитковая емкость катушки, в результате чего больше сказываются собственные потери сердечника. Если же намотку производить поверх тонкого подвижного каркаса, то величина межвитковой емкости значительно уменьшится, следовательно уменьшится влияние потерь в сердечнике. Установлено, что наилучшие результаты получаются, когда диаметр намотки на 10—20% больше диаметра сердечника, т. е. когда выполняется соотношение

$$D \approx (1{,}1 \div 1{,}2)d.$$

Каркас катушки ферритовой антенны ДВ или СВ выполняется обычно из тонкого прессшпана или плотной бумаги толщиной 0,5—0,8 *м*. Для коротковолновой катушки лучше применять каркасы из полистирола или органического стекла.

Выбор марки провода имеет особое значение при однослойной намотке виток к витку. Для катушек СВ здесь лучше всего пригоден многожильный изолированный провод литцендрат. Например, широко используются провода марок ЛЭ $9\times0{,}07$ и ЛЭ $6\times0{,}06$. Первая цифра означает число изолированных проводников в одной оплетке (жгуте). Возможно также применение самодельного литцендрата, сплетенного из 5—10 проводников марки ПЭЛ или ПЭВ диаметром 0,06—0,09 *мм.* Во всех случаях применение многожильного провода для намотки антенных катушек СВ дает увеличение добротности контура в 1,5—2 раза по сравнению с распространенной намоткой проводом марки ПЭЛШО или ПЭВ диаметром 0,12—0,14 *мм.* На длинных волнах из-за большого числа витков разница в добротности при намотке многожильным и одножильным проводами невелика. Поэтому на ДВ применяется главным образом провод марки ПЭЛ или ПЭВ диаметром 0,1—0,12 *мм.*

При намотке внавал или с шагом 1,5—2 *мм* марка провода особого значения не имеет. С шагом мотаются обычно коротковолновые катушки с использованием медного посеребренного провода диаметром 0,35—0,5 *мм.* Но значительно чаще катушки КВ наматываются виток к витку проводом марки ПЭЛШО или ПЭВ того же диаметра. Добротность, конечно, в последнем случае будет меньше примерно на 30—50%, но зато изготовление катушек упрощается,

Выбор числа витков катушки связи. Выбор числа витков катушки связи антенного контура с первым усилительным каскадом приемника производится, исходя из условия относительно высокой добротности контура с учетом типа приемника. В любительских приемниках прямого усиления, где вся частотная избирательность зависит от качества контура магнитной антенны, связь выбирается достаточно слабой, чтобы добротность нагруженного контура составляла не менее 50—70% его собственной добротности. В этом случае отношение чисел витков катушки связи $L_{св}$ и контурной катушки $L_к$ должно быть равно:

$$n=\frac{w_{св}}{w_к}\approx 7{,}1\sqrt{\frac{P_{вх}}{QL_к f_{макс}}},$$

где $R_{вх}$ — входное сопротивление первого усилительного каскада приемника, *ком*; Q_0 — собственная добротность ненагруженного контура ферритовой антенны; $L_к$ — индуктивность контурной катушки, *мкгн*; $f_{макс}$ — максимальная частота диапазона, *Мгц*.

Приведенная выше формула может быть значительно упрощена для любительских расчетов, если подставить в нее средние значения $Q_0=100$ и $R_{вх}=1$ *ком*:

$$n=0{,}7\frac{1}{\sqrt{L_к f_{макс}}}. \qquad (22)$$

Расчеты, проведенные для обзорных диапазонов ДВ, СВ и КВ, перекрываемых с помощью конденсаторов переменной емкости с максимальной емкостью 240—380 *пф*, показали, что средние значения отношения чисел витков должны составлять: $n=0{,}025$ на ДВ; $n=0{,}04$ на СВ и $n=0{,}1$ на КВ.

В супергетеродинах величина n на ДВ и СВ берется несколько больше, а на КВ — меньше средней величины, равной на всех диа-

пазонах $n=0{,}08-0{,}1$. Делается это с целью расширения полосы пропускания антенного контура, что необходимо для устранения влияния неточности сопряжения настроек входного и гетеродинного контуров, сильно сказывающегося на ДВ и СВ. Уменьшение связи на КВ, наоборот, объясняется стремлением сохранить высокую добротность входного контура для обеспечения высокой избирательности по зеркальному каналу.

В результате принятия указанных выше мер при $n=0{,}08\div0{,}1$ добротности нагруженных контуров ферритовых антенн составляют в среднем по диапазонам $Q=20\div30$ на ДВ, $Q=30\div70$ на СВ и $Q=70\div100$ на КВ.

Расчет чувствительности приемника с ферритовой антенной. Чувствительность со входа первого каскада приемника, ограниченная усилением $U_{вх}$, связана с чувствительностью по полю соотношением

$$U_{вх}=nh_{д}E,\ мкв, \qquad (23)$$

где n — отношение чисел витков катушки связи и контурной катушки; $h_{д}$ — действующая высота антенны, *м*; E — чувствительность по полю, *мкв/м*.

Из формулы вытекает выражение для чувствительности по полю

$$E=\frac{1}{h_{д}n}U_{вх},\ мкв/м. \qquad (24)$$

Расчет избирательности приемника с ферритовой антенной. Расчет избирательности по соседнему и зеркальному каналам производится точно так же, как это делалось для приемников со штыревой и рамочной антеннами, учитывая приведенные выше значения добротности нагруженного контура и используя данные рис. 12.

Например, согласно рис. 12 избирательность входного устройства по соседнему каналу может составлять 4—6 *дб* на ДВ и СВ и всего 1—2 *дб* на КВ. По зеркальному каналу избирательность может быть равна 30—40 *дб* на ДВ, 24—30 *дб* на СВ и 20—26 *дб* на КВ.

Избирательность по интермодуляционной помехе приемников с ферритовыми антеннами оказывается выше, чем у приемников с рамочными, а тем более со штыревыми антеннами. Последнее объясняется значительным ухудшением приемных свойств ферритовых антенн на высоких частотах, где проявляется влияние телевизионных каналов.

Кроме того, избирательность по всем каналам может быть улучшена еще на 16—20 *дб* за счет пространственной избирательности, свойственной магнитным антеннам.

Как показывает практика, супергетеродины с ферритовыми антеннами не только в меньшей степени подвержены действию разного рода промышленных помех, но и сами практически не создают излучения как на основной частоте гетеродина, так и на ее гармониках. В этом у ферритовых антенн большие преимущества по сравнению со штыревыми антеннами.

Пример расчета ферритовой антенны. Произведем расчет ферритовой антенны, работающей в диапазоне средних волн ($f_{мин}=$ $=515$ *кгц*$=0{,}515$ *Мгц*). Считаем, что для настройки используется двухсекционный конденсатор переменной емкости типа «Тесла», ма-

ксимальная емкость каждой секции которого $C_{макс}=380$ *пф*. Намотка производится одножильным проводом.

Порядок расчета следующий:

1. По формуле (7) определяем максимальную емкость контура:

$$C_{к.макс}=1{,}1\cdot380=420\ пф.$$

2. По формуле (6) или данным рис. 10 находим требуемую величину индуктивности катушки

$$L_к=\frac{2{,}53\cdot10^4}{0{,}515^2\cdot420}=227\ мкгн.$$

3. Выбираем сердечник марки 400НН диаметром $d=8$ *мм* и длиной $l=100$ *мм*. Находим отношение $l/d=100/8=12{,}5$. Согласно данным рис. 18,*а* $L'=0{,}001$; из табл. 3 получаем $\mu_д=70$.

4. Полагаем, что длина намотки $a=0{,}2\ l=0{,}2\cdot100=20$ *мм*. Тогда согласно данным рис. 18,*б* $m_L=0{,}4$.

5. Полагаем, что катушка будет смещена относительно центра сердечника на величину $2x=0{,}4\,l=0{,}4\cdot100=40$ *мм*, откуда $x=20$ *мм*. Согласно даным рис. 18,*в*, $p_L=0{,}95$.

6. Выбираем диаметр намотки $D=1{,}1d=1{,}1\cdot8=8{,}8$ *мм* ≈9 *мм*. Тогда $q_L=0{,}82$.

7. После подстановки в формулу (21) исходных даных, полученных в пп. 2—6, находим число витков катушки $L_к$:

$$w_к=\sqrt{\frac{227}{0{,}001\cdot70\cdot0{,}4\cdot0{,}82\cdot0{,}95}}=100\ витков.$$

8. Количество витков катушки связи $L_{св}$ определяется из условия

$$w_{св}=0{,}1w_к=0{,}1\cdot100=10\ витков.$$

Для намотки катушек $L_к$ и $L_{св}$ применяем провод марки ПЭЛШО диаметром $d=0{,}14$ *мм*. Длина намотки контурной катушки $L_к$ при этом составит:

$$a=1{,}4dw_к=1{,}4\cdot0{,}14\cdot100=20\ мм.$$

9. Действующая высота антенны определяется по формуле (20). При этом площадь одного витка катушки находится по формуле

$$S=\frac{\pi}{4}(0{,}008)^2=5{,}0\cdot10^{-5}\ м^2.$$

После подстановки исходных данных получаем:

$$h_д=\frac{2\pi}{\lambda}70\cdot100\cdot5{,}0\,10^{-5}\cdot50\approx\frac{100}{\lambda},\ м.$$

Например, на волне $\lambda=200$ *м* имеем $h_д=0{,}50$ *м*; на волне $\lambda=$ $=500$ *м* и $h_д=0{,}2$ *м*.

10. Чувствительность приемника по полю (ограниченная усилением) с рассчитанной выше антенной определяется по формуле

$$E=\frac{10}{(0{,}2\div0{,}5)\cdot0{,}1}=200\div500\ мкв/м.$$

Здесь чувствительность приемника со входа первого усилительного каскада равна 10 *мкв*.

Чувствительность со входа первого усилительного каскада, необходимая для получения требуемой чувствительности по полю, определяется для минимального значения $h_д=0{,}2$ *м* по формуле (23).

Например, если задано $E=1\,000$ *мкв/м*, то $U_{вх}=0{,}1\cdot0{,}2\cdot1\,000=20$ *мкв*.

11. Избирательность входного устройства приемника с ферритовой антенной вычисляется по уже упомянутым выше данным рис. 12, согласно которым при учете принятого в расчетах значения $Q=50$ избирательность по соседнему каналу может составлять 3—4 *дб*, а по зеркальному 34—40 *дб*. Дополнительное улучшение избирательности по всем каналам за счет пространственной избирательности может достигать 16—20 *дб*.

Как видно из проведенного выше расчета, ферритовые антенны обладают высокими параметрами, превосходя рамочные антенны по величине действующей высоты и практически не уступая в этом штыревым антеннам. Все это, а также малые размеры делают ферритовые антенны незаменимыми в карманных и небольших переносных приемниках практически на всех диапазонах от длинных до коротких волн включительно. Примером этого может служить отечественный портативный приемник «Спорт-2», в котором применены две ферритовые антенны, одна из которых работает на ДВ и СВ, а другая — на двух полуобзорных диапазонах КВ.

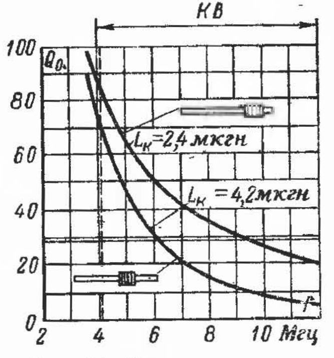


Рис. 20. Зависимости индуктивности L и добротности Q_0 ненагруженной ферритовой антенны в диапазоне КВ от частоты сигнала и положения намотки на сердечнике.

Необходимо отметить, что приведенная выше методика расчета справедлива только в том случае, когда максимальная частота сигнала не превосходит предельной частоты применяемого феррита. Например, для феррита марки 400НН это справедливо до частот 3—4 *Мгц* включительно, для марки 150ВЧ — на частотах до 12 *Мгц*.

Расчеты ферритовых антенн, работающих на частотах, превышающих предельную частоту феррита, весьма сложны и в любительских условиях не проводятся. Значительно чаще экспериментально определяется зависимость добротности и индуктивности катушки от ее положения на сердечнике. В качестве примера на рис. 20 приведены зависимости добротности и индуктивности контурной катушки диапазона КВ от частоты сигнала при различных удалениях каркаса катушки от центра сердечника. Измерения проводились с помощью измерителя добротности на ферритовой антенне, содержащей 6 витков провода марки ПЭЛШО диаметром 0,51 *мм* с шагом 1,2 *мм*, намотанного на каркасе из прессшпана толщиной 1 *мм*, который свободно перемещался вдоль ферритового сердечника марки 400НН с размерами 3×20×115 *мм*.

Из рис. 20 видно, что для обеспечения удовлетворительной работы приемника при добротности входного контура антенны $Q\geqslant30$ необходимо смещать катушку ближе к концу стержня. При этом

Максимальная частота, на которой будет удовлетворяться поставленное условие, составит 9—10 *Мгц*, т. е. будут перекрываться волны длиннее 30 *м*. Для сравнения можно указать, что аналогичная ферритовая антенна на стержне марки 150ВЧ при тех же конструктивных данных катушки, намотанной на пластмассовом каркасе, обеспечивает $Q_0 = 150 \div 200$.

Вместе с тем низкочастотные ферритовые стержни, аналогичные 400НН, в последние годы широко применяются на полуобзорных диапазонах коротких волн 41—49 или 41—75 *м*. В конце 1970 г. в печати были опубликованы краткие и подробные характеристики двух десятков таких приемников, выпускаемых в ГДР, Швеции, Австрии, Франции и ряде других европейских стран. К их числу относятся, например, приемники «Stern Elite», «Stern Party», «Stern Picknick» (ГДР) и «Roberts R707» (Англия).

На страницах отечественных изданий также описывались портативные приемники, в которых на КВ использовались низкочастотные ферритовые антенны [Л. 3].

Недостатки приемников с ферритовыми антеннами. Основным недостатком ферритовых антенн является наличие хотя и небольшого, но все же заметного внешнего поля, способного создавать нежелательные паразитные связи с другими катушками и каскадами приемника. По этой причине ферритовые антенны устанавливаются возможно дальше от крупных металлических деталей (трансформаторов НЧ, громкоговорителя), а также экранированных и неэкранированных катушек индуктивности гетеродина и фильтров промежуточной частоты.

Другим недостатком ферритовых антенн является хрупкость их сердечников. Вследствие этого при сильных ударах и падениях сердечник обычно раскалывается на части, которые потом трудно склеить, сохранив при этом первоначальные параметры антенны.

Как видно из приведенных выше данных, у ферритовых антенн значительно больше положительных качеств, чем отрицательных, что позволяет считать их наиболее перспективными для массовых портативных приемников.

ПРИМЕНЕНИЕ ВНЕШНИХ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ АНТЕНН

Особенностью портативных приемников является относительно малая действующая высота встроенных в них антенн, что не позволяет добиваться хорошей слышимости при ухудшении условий приема, например при работе приемника в железобетонном здании или езде в легковом автомобиле. В таких случаях можно существенно улучшить качество работы приемника лишь за счет применения внешней дополнительной антенны. Например, в стационарных условиях целесообразно применять наружную или комнатную антенну, при езде в автомобиле — подключать внешнюю автомобильную антенну.

Эквивалентные схемы замещения внешних антенн. Эквивалентные схемы замещения основных видов внешних антенн приведены на рис. 21. Эквивалентная схема стандартной внешней антенны длиной 15—20 *м*, подвешенной на высоте 6—7 *м* над землей или металлической крышей дома, показана на рис. 21,*а*. В диапазоне ДВ эквивалентная схема упрощается за счет сильного шунтирующего влияния индуктивности L_1. Здесь антенну можно представить в виде

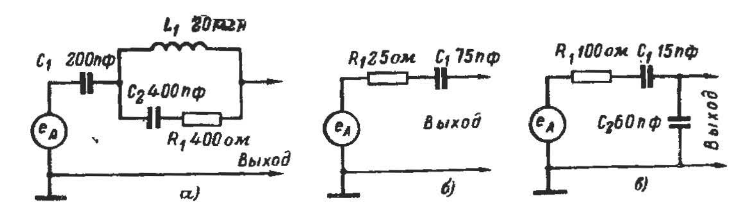


Рис. 21. Эквивалентные схемы замещения наружной (*а*), комнатной (*б*) и автомобильной штыревой (*в*) антенн.

эквивалентного конденсатора C_1=200 *пф*. На КВ, наоборот, сопротивление индуктивности L_1 очень велико, а конденсаторов — мало. В результате этого на КВ эквивалентная схема включает в себя последовательно соединенные конденсатор C_1=200 *пф* и резистор R_1=400 *ом*. На частотах выше 10 *Мгц* антенна эквивалентна одному резистору R_1=400 *ом*.

Эквивалентная схема замещения комнатной антенны (рис. 21,*б*) длиной около 5 *м* справедлива для диапазонов ДВ и СВ. На КВ она эквивалентна активному сопротивлению 200 *ом*.

Эквивалентная схема замещения автомобильной штыревой антенны длиной 1,5 *м* (рис. 21,*в*) справедлива для диапазонов ДВ и СВ.

Из рис. 21 видно, что все перечисленные выше внешние антенны имеют невысокое выходное сопротивление, вследствие чего их нельзя подключать непосредственно параллельно контуру магнитной антенны.

Схемы включения внешних антенн. Наиболее распространены емкостная (рис. 22,*а*) и индуктивная (рис. 22,*б*) связи внешних дополнительных антенн с приемником. В большинстве портативных приемников промышленного и любительского изготовления внешние

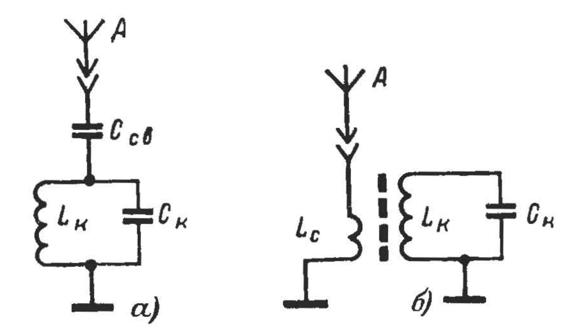


Рис. 22. Схемы подключения внешних дополнительных антенн при емкостной (*а*) и индуктивной (*б*) связях с входным контуром.

дополнительные антенны подключаются к контуру магнитной антенны через конденсатор небольшой емкости, величина которого определяется диапазоном волн. Например, на ДВ и СВ его емкость должна быть равна 20—30 *пф*, на КВ 1—5 *пф*. Практически же с целью

упрощения конструкции приемника применяется один конденсатор емкостью 5—10 *пф*.

Недостатком такого вида связи с внешней антенной является большая неравномерность чувствительности приемника по диапазонам. Увеличение же емкости конденсатора связи нежелательно из-за ухудшения избирательных свойств входного контура.

Значительно лучшие результаты получаются при подключении внешней антенны к специальной дополнительной катушке связи, размещенной на одном сердечнике с катушками магнитной антенны. Обычно такая катушка содержит в 1,5—2 раза больше витков, чем катушка связи с первым каскадом усиления приемника. В большинстве случаев катушка связи с антенной содержит 10—15 витков провода марки ПЭЛ или ПЭЛШО диаметром 0,15—0,27 *мм* на ДВ и СВ и 1—2 витка провода той же марки диаметром 0,31—0,51 *мм* на КВ. При этом во всех случаях второй конец катушки связи с антенной целесообразно заземлять, как это показано на рис. 22,*б*. Несколько сложнее обстоит с подключением дополнительной антенны ко встроенной рамочной антенне. Здесь можно, например, осуществить внешнюю емкостную связь. Но лучше для связи использовать дополнительную малогабаритную рамку, включаемую между внешней антенной и заземлением. Ток антенны, проходя через эту рамку, будет создавать вблизи нее вторичное поле сигнала, которое может быть принято встроенной рамкой приемника на расстоянии до 10—15 *см*.

В качестве катушки связи можно использовать рамку, содержащую 5—8 витков провода марки ПЭЛ или ПЭВ диаметром 0,5—1,0 *мм*, намотанных по периметру квадратного пластмассового каркаса 10×10 *см*. Такая рамка очень удобна для связи с внешней антенной приемника, работающего на ферритовой антенне. Удобство в том, что для подключения необходимо только поднести приемник на достаточно близкое расстояние к рамке связи так, чтобы продольная ось ферритового сердечника была перпендикулярна плоскости рамки связи.

Если приемник работает только на ДВ и СВ, то в качестве катушки внешней связи можно использовать кусок ферритового стержня от антенны длиной 30—40 *мм*, поверх которого намотаны 20—30 витков провода марки ПЭЛ или ПЭВ диаметром 0,15—0,27 *мм*. Во всех указанных случаях рамка или катушка внешней связи может быть декоративно оформлена под интерьер письменного стола или стеллажа, где обычно находится приемник.

Заменители внешней антенны. При отсутствии внешних антенн можно воспользоваться различными их заменителями, например в виде куска гибкого изолированного провода диаметром жилы 0,5—1,0 *мм* и длиной до 3—5 *м*. Для этой же цели подойдут трубопроводы водоснабжения и теплосети, электрическая и телевизионная проводки. Но это совсем не означает, что нужно каким-то образом подключаться к указанным трубам и проводникам. Вполне достаточно поднести к указанным предметам сам приемник таким образом, чтобы его штыревая антенна была параллельна оси ориентации их. Ферритовая антенна, наоборот, должна быть перпендикулярна этому направлению. В обоих случаях антенны приемника будут улавливать энергию вторичного излучения указанных металлических предметов.

У заменителей внешних антенн есть один серьезный недостаток, который ограничивает их применение, заключающийся в том, что они переизлучают энергию не только сигналов, но и промышленных

помех. Поэтому для высококачественного приема следует пользоваться только встроенной или специальной дополнительной антенной, располагая их по возможности дальше от токонесущих проводников и работающих телевизоров.

Если окажется, что в помещении нет поблизости дополнительной антенны или ее заменителя, то громкость приема может быть увеличена путем установления приемника в непосредственной близости от окна, где в меньшей степени сказывается экранирующее действие железобетонных стен. И, наконец, в полевых условиях, на привале туристического похода можно применять проволочную вертикальную антенну высотой до 5—7 *м*, закрепляемую на ветке дерева. Еще лучшие результаты можно получить при подключении заземления, представляющего собой металлический штырь, вбитый в землю на глубину 30—40 *см*.

Во всех случаях следует помнить, что наружные антенны должны иметь грозовой переключатель с разрядником во избежание несчастных случаев при грозе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белов И. Ф., Дрызго Е. В. Справочник по транзисторным радиоприемникам. М., «Советское радио», 1970.

2. Васильев В. А. Радиолюбителю о транзисторах. М. ДОСААФ, 1967.

3. Васильев В. А. Самодельные коротковолновые приемники на транзисторах. М., «Энергия», 1968.

4. Васильев В. А. Простые транзисторные супергетеродины. М., «Энергия», 1971.

5. Горшелев В. Д. и др. Основы проектирования радиоприемников. М., «Энергия», 1967.

6. Калихман С. Г. и Левин Я. М. Основы теории и расчета радиовещательных приемников на полупроводниковых приборах. М. «Связь», 1969.

7. Матвеев Г. А. и Хомич В. И. Катушки с ферритовыми сердечниками. М., «Энергия», 1967.

8. Сифоров В. И. Радиоприемные устройства. М., Воениздат, 1954.

9. Толмасский И. С. Высокочастотные магнитные материалы. М., «Энергия», 1968.

10. Хомич В. И. Приемные ферритовые антенны. М., Госэнергоиздат, 1963.

11. «Radio und Fernsehenelektrotechnik», 1970, № 19.

12. Wolszczak Slowomir. Miniodbionniki tranzystorowe. «Wydawnictwa Naukowo-techniczne», Warzawa, 1969.

СОДЕРЖАНИЕ

ВЛАДИМИР АЛЕКСЕЕВИЧ ВАСИЛЬЕВ

Антенны портативных приемников

Редактор В. В. Иванов
Редактор издательства В. А. Абрамов
Обложка художника А. М. Кувшинникова
Технический редактор Н. А. Галанчева
Корректор З. Б. Драновская

Сдано в набор 20/IV 1972 г. Подписано к печати 14/XII 1972 г. Т-19682
Формат 84×108 1/32 Бумага типографская № 2
Усл. печ. л. 2,1 Уч.-изд. л. 2,63
Тираж 60 000 экз. Зак. 1169 Цена 12 коп.

Издательство „Энергия". Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

Московская типографии № 10 «Союзполиграфпрома»
при Государственном Комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.